

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-276985
 (43)Date of publication of application : 09.10.2001

(51)Int. CI. B23K 26/00
 B23K 26/04
 B23K 26/08
 C03C 23/00
 G02B 5/18

(21)Application number : 2000-258854 (71)Applicant : SUMITOMO HEAVY IND LTD
 (22)Date of filing : 29.08.2000 (72)Inventor : HAYASHI KENICHI
 ITO KAZUYOSHI

(30)Priority

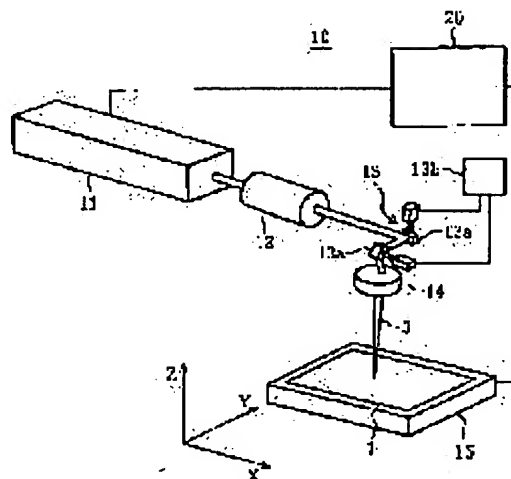
Priority number : 2000019062 Priority date : 27.01.2000 Priority country : JP

(54) MARKING METHOD AND EQUIPMENT, AND MARKED OPTICAL MEMBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a marking method capable of easily recognizing an existence of a marking without using a special reading equipment and also capable of avoiding a destruction of material and a deterioration of material strength.

SOLUTION: A transparent glass substrate 1 is provided for a marking object. A laser beam with a wavelength capable of permeating a material forming the transparent glass substrate 1 is focused inside the transparent glass substrate 1 so as to cause a multiphoton absorption. A focusing position of the laser beam is moved so that a range of a changed refractive index caused by the multiphoton absorption can provide for a diffraction pattern causing a visible light to diffract.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.10.2001
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application]

other than the examiner's decision of
rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3522671

[Date of registration] 20. 02. 2004

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-276985

(P2001-276985A)

(43) 公開日 平成13年10月9日 (2001.10.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	マークシート(参考)
B 2 3 K 26/00		B 2 3 K 26/00	B 2 H 0 4 9
26/04		26/04	G 4 E 0 6 8
26/08		26/08	C 4 G 0 5 9
C 0 3 C 23/00		C 0 3 C 23/00	B
			Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-253354(P2000-253354)

(22) 出願日 平成12年8月29日(2000.8.29)

(31) 優先権主張番号 特願2000-19062(P2000-19062)

(32) 優先日 平成12年1月27日(2000.1.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002107

住友重機械工業株式会社

東京都品川区北品川五丁目9番11号

(72) 発明者 林 健一

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重

機械工業株式会社平塚事業所内

(72) 発明者 伊東 一良

兵庫県川西市花屋敷1-27-16

(74) 代理人 100091340

弁理士 高橋 敬四郎 (外2名)

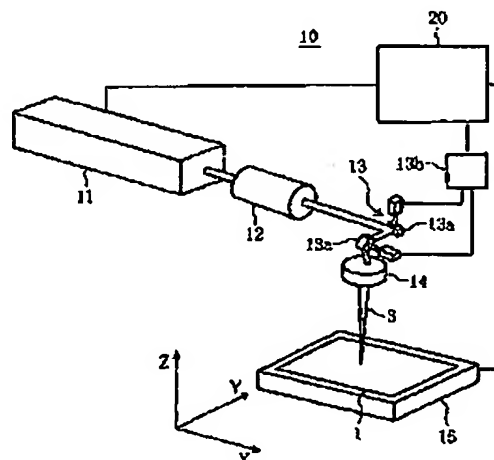
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マーキング方法、装置及びマーキングされた光学部材

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 特別な読み取り装置を用いることなくマークの存在を比較的容易に確認でき、しかも材料の破壊や強度低下を回避できるマーキング方法を提供する。

【解決手段】 マーキング対象物として透明ガラス基板1を準備する。透明ガラス基板1を形成する材料を透過する波長域のレーザー光を透明ガラス基板1の内部に収束させて、多光子吸収させる。多光子吸収によって屈折率の変化した領域が、可視光を回折させる回折パターンを構成するようにレーザー光の収束位置を移動させる。



(2)

特開2001-276985

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 マーキング対象物を準備する工程と、前記マーキング対象物を形成する材料を透過する波長域のレーザ光を前記マーキング対象物の内部に収束させて、多光子吸収させる工程と、

多光子吸収によって屈折率の変化した領域が、可視光を回折させる回折パターンを構成するようにレーザ光の収束位置を移動させる工程とを有するマーキング方法。

【請求項2】 前記回折パターンは、ブラッグ回折パターンである請求項1に記載のマーキング方法。

【請求項3】 前記収束位置を移動させる工程が、ある仮想平面に沿って配置された第1のパターンを構成するように収束位置を移動させる工程と、前記第1のパターンを前記仮想平面の法線方向に平行移動して得られる第2のパターンを構成するように収束位置を移動させる工程とを含む請求項1に記載のマーキング方法。

【請求項4】 マーキング対象物を載置するステージと、

前記マーキング対象物を形成する材料を透過する波長域のレーザ光を発生する光源と、

前記光源からの前記レーザ光を前記マーキング対象物の内部に収束させて、多光子吸収させる光学系と、

前記レーザ光の収束位置に、多光子吸収により形成される変質領域が、可視光を回折させる回折格子を構成するように、該収束位置を移動させる移動手段とを有するマーキング装置。

【請求項5】 内部に、光学的特性の異なる部分で構成されたパターンが形成され、かつ可視光を透過させる材料で形成された光学部材であって、該パターンが、可視光を回折させるパターンである前記光学部材。

【請求項6】 加工対象物に、対物レンズのNA及び1パルスあたりのエネルギーを変化させてパルスレーザビームを照射し、レーザビームの集光点に変質領域を形成する第1工程と、

形成された変質領域の長さ、NA及び1パルスあたりのエネルギーとの関係を求める第2工程と、

形成すべき変質領域の長さを決定する第3工程と、

前記第2工程で求められた関係と形成すべき変質領域の長さから、用いるべきNA及び1パルスあたりのエネルギーを決定する第4工程と、

決定されたNA及び1パルスあたりのエネルギーで、前記加工対象物にレーザビームを集光し、変質領域を形成する第5工程とを有するマーキング方法。

【請求項7】 前記第1工程において、変質領域の長さが飽和するまでレーザビームで露光し、長さの飽和した変質領域を形成する請求項6に記載のマーキング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、透明材料内部にレ

ーザ光を収束させて、収束された部分の光学的性質を変化させ、マークを形成する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、透明材料の内部にマーキングする方法として、特表平6-500275号公報、特開平7-136782号公報、特許第2810151号公報等に開示の方法が知られている。これらは、いずれも、透明材料の内部にレーザ光を集光させ、非線形吸収効果により内部にクラックを発生させる方法である。このクラックによる不透明な部分がマークを構成する。このようなマーキング方法を用いて鮮明なマークを得るためには、クラックを大きくする必要がある。ところが、クラックを大きくすると材料の強度が低下したり、表面にまでクラックが到達し、破壊に至るおそれがある。

【0003】本願発明者は、特開平11-13896号公報に開示のように、薄いガラス基板の内部だけにクラックを形成するために特別の制御を行うレーザ光照射方法をすでに試みている。

【0004】また、本願発明者は、特開平11-267861号公報に開示のように、クラック生成によらず、屈折率変化を生じさせて、これをマークに用いる方法も開発した。この方法では、クラックを生じさせないのて、破壊に至る可能性を上記特開平11-13896号公報に開示の方法よりもさらに低減できる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のような屈折率変化を用いる方法では、マークの大きさが極めて小さくなる。このため、マークの存在を検出するために、特別な読み取り装置を用いる必要がある。つまり、上記方法は、「隠しマーク」の形成に適しているが、一般のマーキングにはあまり適していない。

【0006】本発明の目的は、特別な読み取り装置を用いることなくマークの存在を比較的容易に確認でき、しかも材料の破壊や強度低下を回避できるマーキング方法及び装置と、これらを用いて形成した表示装置とを提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の一観点によると、マーキング対象物を準備する工程と、前記マーキング対象物を形成する材料を透過する波長域のレーザ光を前記マーキング対象物の内部に収束させて、多光子吸収させる工程と、多光子吸収によって屈折率の変化した領域が、可視光を回折させる回折パターンを構成するようにレーザ光の収束位置を移動させる工程とを有するマーキング方法が提供される。

【0008】本発明の他の観点によると、マーキング対象物を載置するステージと、前記マーキング対象物を形成する材料を透過する波長域のレーザ光を発生する光源と、前記光源からの前記レーザ光を前記マーキング対象物の内部に収束させて、多光子吸収させる光学系と、前

(3)

特開2001-276985

3

記レーザー光の収束位置に、多光子吸収により形成される変質領域が、可視光を回折させる回折格子を構成するように、該収束位置を移動させる移動手段とを有するマーキング装置が提供される。

【0009】上記方法及び装置では、マーキング対象物を形成する材料を透過する波長域のレーザー光をマーキング対象物の内部に収束させて多光子吸収させるので、光子エネルギーが比較的低いレーザー光であっても、これを用いてマーキング対象物の内部の集光点に限定して、比較的大きな光学的特性(例えば屈折率)の変化を生じさせることができる。このような光学的特性の変化は、クラックの場合と異なり、マーキング対象物を破壊したり、強度の低下を生じさせたりすることはない。また、上記方法では、屈折率の変化した領域が、可視光を回折させる。このため、巨視的には、形成されたマークが明暗や色彩の変化として認識される。

【0010】本発明の他の観点によると、内部に、光学的特性の異なる部分で構成されたパターンが形成され、かつ可視光を透過させる材料で形成された光学部材であって、該パターンが、可視光を回折させるパターンである前記光学部材が提供される。

【0011】可視光の回折により、光学的特性の異なる部分で構成されたパターンからなるマークが、明暗や色彩の変化として認識される。このマークを、装置の識別符号として用いることができる。また、光学部材に、カラフルなマークが付された装飾品としての価値を持たせることも可能である。

【0012】本発明の他の観点によると、加工対象物に、対物レンズのNA及び1パルスあたりのエネルギーを変化させてパルスレーザービームを照射し、レーザービームの集光点に変質領域を形成する第1工程と、形成された変質領域の長さ、NA及び1パルスあたりのエネルギーとの関係を求める第2工程と、形成すべき変質領域の長さを決定する第3工程と、前記第2工程で求められた関係と形成すべき変質領域の長さから、用いるべきNA及び1パルスあたりのエネルギーを決定する第4工程と、決定されたNA及び1パルスあたりのエネルギーで、前記加工対象物にレーザービームを集光し、変質領域を形成する第5工程とを有するマーキング方法が提供される。

【0013】NA及び1パルスあたりのエネルギーを適当に選択することにより、所望の長さの変質領域を形成することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の実施例によるマーキング装置及び方法について図面を参照しつつ具体的に説明する。

【0015】図1は、本発明の実施例によるマーキング装置10の概略を示す斜視図である。マーキング装置10は、マーキング対象物である透明ガラス基板1を透過する波長域のレーザー光を発生するレーザー光源11と、レ

4

ーザ光源11から出射したレーザー光のビーム形状を整形するビーム整形器12と、透明ガラス基板1中に形成されるレーザー光の収束位置を所定のパターンに沿って移動させるガルバノスキャナ13と、透明ガラス基板1中の所望の深さの位置にレーザー光を集光させるfθレンズ14と、透明ガラス基板1を載置してXY面内で適宜移動するステージ15とを有する。

【0016】レーザー光源11として、例えばモードロックしたTi:サファイアレーザを用いることができる。レーザー光源11は、例えばパルス幅130fs、波長800nm、平均出力1W、繰返し周波数1kHzのパルス状レーザービームを出力する。レーザー光源11として、Ti:サファイアレーザ以外に、YAGレーザ、YLFレーザ等のレーザダイード(LD)励起型固体レーザ発振器を用いることもできる。また、それらのレーザ発振器から出力された基本波の高調波を生成する各種レーザー光源を用いることもできる。

【0017】ガルバノスキャナ13は、一對のガルバノミラー13aを回転駆動するミラー駆動装置と高緯度の位置検出装置とを備えており、fθレンズ14によって透明ガラス基板1中に形成されるビームスポットをXY面内で任意の点に移動させることができる。また、ガルバノスキャナ13は、駆動部13bを介してコンピュータ20により制御される。コンピュータ20は、ガルバノスキャナ13の駆動をレーザー光源11のパルス発振に同期させる。

【0018】fθレンズ14は、透明ガラス基板1中にレーザー光を集光させるだけでなく、レーザー光の集光点を、ガルバノスキャナ13による走査中も常に一定の深さに保つ。なお、ステージ15を動作させて透明ガラス基板1を2方向に移動させる代わりにfθレンズ14を2方向に移動させても同様の効果が得られるのは言うまでもない。

【0019】fθレンズ14によって形成されたレーザー光の集光点に、屈折率変化が生じた変質部分が形成される。このような集光点をガルバノスキャナ13によって走査することにより、変質部分からなる所望のパターンを形成することができる。このようなパターンが例えば可視光を回折させる回折格子を構成する場合、このパターンが、回折光により視覚的に認識される。

【0020】ステージ15は、透明ガラス基板1をXY面内で任意の位置に移動させることによってマークの形成位置を調節する。ガルバノスキャナ13を駆動することによって、変質部分からなる単位回折パターンが形成される。ステージ15を適宜動作させることによって、複数の単位回折パターンを透明ガラス基板1中の任意の箇所に形成することができる。これにより、図形、文字、記号等を表すマークを内部に埋め込んだ表示装置が得られる。なお、ステージ15の動作は、コンピュータ20によって制御されており、ガルバノスキャナ13や

(4)

特開2001-276985

5

レーザ光源11と同期する。

【0021】ステージ15は、透明ガラス基板1を2方向に微動させることもできる。これにより、透明ガラス基板1中に形成されるマークの深さを調節することができる。例えば、透明ガラス基板1中の第1の深さに第1のマークを形成し、第2の深さに第2のマークを形成すれば、多層構造のマークを形成することができる。さらに、ガルバノスキャナ13等を利用して回折マークを形成しつつステージ15を3次元的にステップ移動させることにより、立体的に配置されたマークを形成することもできる。

【0022】透明ガラス基板1は、レーザ光源11からのレーザ光を透過させ、かつこのレーザ光に対して効率的な多光子吸収が生ずるものであればよい。ただし、内部に形成される回折マークを視覚的に認識するためには、可視光をほぼ透過させるものである必要もある。例えば、 $\text{GeO}_2-\text{SiO}_2$ ガラス等を用いることができる。また、ソーダ石灰ガラス、石英ガラス等各種の材料に回折マークを形成できることが確認されている。

【0023】以下、図1の装置の動作について説明する。まず、透明ガラス基板1をステージ15上に載置し、回折マークを形成すべき部位をfθレンズ14の直下に移動させる（ステップS1）。

【0024】次に、ガルバノスキャナ13をレーザ光源11と同期して動作させて、レーザ光の集光点を走査する（ステップS2）。この際、レーザ光源11がフェムト秒オーダーの極短パルスを生じさせるので、集光点で多光子吸収が効率的に生じる。このような多光子吸収を利用すれば、本来吸収のない赤外レーザ光によるエネルギーの注入が可能になる。これにより、集光点に限定して比較的大きな屈折率等の光学的特性の変化を生じさせることができる。このような特性変化は、透明ガラス基板1の密度変化や結合状態の変化等起因して形成される光学的非線形現象であり、恒久的にガラス中に残存して変質部分を形成する。このような変質部分がガルバノスキャナ13の走査の軌跡に沿って透明ガラス基板1中に形成される。

【0025】変質部分がブラック回折格子を構成するようにレーザ光を走査すれば、ブラック回折格子が形成される。この回折格子に可視光が入射すると、その格子間隔に応じた方向に回折された光が射出する。例えば、この回折格子を白色光で照明し、角度を変えて観察すると、マークが虹色に変化するように見える。さらに、この回折格子を単色光で照明すると、単色光の波長に応じた特定の角度に回折された光が射出する。これを単色光だけを透過させるフィルタを通して観察すれば、高いS/N比でマークを検知することが可能になる。なお、回折格子を形成する走査領域の輪郭は、矩形に限られるものではなく、円形やその他の図形とすることができる。

【0026】次に、レーザ光の走査を一時中断し、ステ

6

ージ15を動作させて透明ガラス基板1を移動させる。これにより、レーザ光の集光点を、次に回折格子を形成すべき位置に移動させる（ステップS3）。

【0027】ステップS2と同様に、ガルバノスキャナ13をレーザ光源11とを、両者が同期するように動作させて、レーザ光の集光点を走査する。これにより、この位置にも回折格子を形成することができる（ステップS4）。

【0028】以上のステップS3とS4を繰り返すことにより、所望の位置に回折格子を順次形成することができる。全体として図形、文字、記号として認識されるマークを透明ガラス基板1中に形成することができる。このマークは、視覚的に認識され得る限り任意のパターンとすることができ、識別コードであってもよく、それ自体に意味のない装飾であってもよい。

【0029】以上説明した図1のマーキング装置では、ガルバノスキャナ13によって透明ガラス基板1の面内方向にレーザ光を走査して回折格子を形成しているが、ガルバノスキャナ13の代わりにステージ15の駆動系を利用してレーザ光を走査することもできる。この場合、ガルバノスキャナ13を動作させる必要がなくなるので、ガルバノスキャナ13を単なる偏向ミラーに置き換えることもできる。また、fθレンズ14に代えて、通常の対物レンズ、例えば顕微鏡用対物レンズを用いることができる。なお、ステージ15の駆動系は、高速かつ高精度で動作するものとするのが望ましい。

【0030】さらに、ガルバノスキャナ13とステージ15の駆動系とを併用してレーザ光を走査して回折格子を形成することもできる。この場合、例えばガルバノスキャナ13による比較的高速の走査を主走査とし、ステージ15の駆動系による比較的低速の走査を副走査とする。

【0031】以下、マークの具体的な作製例について説明する。なお、以下の例では、ステージ15の駆動系のみを利用してレーザ光を走査して回折マークを形成した。また、fθレンズ14の代わりに、焦点距離が10mmで、開口数(NA)が0.23の顕微鏡用対物レンズを用いた。このレンズを経たレーザ光の1パルスあたりのエネルギーは、2～0.4μJ/パルス程度である。

【0032】図2(a)及び(b)は、それぞれ単一パルスのレーザ光によってその焦点周辺に形成される変質領域の正面図及び平面図である。図2(a)は、変質領域を光軸方向に垂直な方向から見た図であり、図2(b)は、光軸方向に沿って見た図である。レーザ光のビーム断面内の強度分布は、その光軸OAに関して無限回回転対称である。実施例で得た変質領域1aは、光軸OAに沿った楕円状であり、直径ADが約1μmで長さALが20～30μm程度であった。

【0033】なお、集光レンズの焦点深度が約5μmで

(5)

特開2001-276985

7

8

あるにもかかわらず、変質領域1aは、光軸に沿って30μmまで延びている。このような現象が生じるのは、光カー効果による自己集光効果が回折と均衡しているためと考えられる。さらに、熱的な非線型性によって自己集光効果が生じているとも考えられる。

【0034】次に、レーザ光の集光条件を変えた他の実施例について説明する。焦点距離100mmのレンズでNAを0.05とし、1パルスあたりのエネルギー2μJ/パルスのレーザビームを入射したところ、長さ約500μm、直径約1〜2μmの変質領域を形成することが*10

$$\partial u / \partial t = a \{ (\partial^2 / \partial x^2) u + (\partial^2 / \partial y^2) u + (\partial^2 / \partial z^2) u \}$$

・・・(1)

ここで、uは温度、tは時間、aは拡散係数である。レーザパルスのエネルギー吸収は、Lambert-Beerの法則に従い、最初の温度分布はガウス分布であるものと仮定した。t=0の時の温度uとして10°Kを用い、ガラスの熱温度係数として $\sim 10^{-5}$ を用いた。レーザパルスの繰り返し周波数が1kHzであるので、パルス間隔は1msとした。計算の結果、残留温度上昇は、パルス幅130fsのパルスレーザビームを照射した1ms後に約10°であった。結局、入射パルスが多数になる場合には、熱自己集光効果が重要となる。

【0037】図3は、ステージ15を動作させた時のレーザビームの集光点の軌跡を示す。図3の横方向が主走査方向であり、縦方向が副走査方向である。主走査の速度は0.1mm/sであり、走査線の間隔(副走査のピッチ)は4μmである。この走査により、1mm×1mmの正方形の範囲内にブラッグ回折格子が形成される。

【0038】主走査の速度が0.1mm/sであるため、変質領域の主走査方向の間隔が0.1μmになる。1ショットで形成される変質領域の直径が1〜2μmであるため、変質領域は主走査方向に連なって配置される。

【0039】図4は、透明ガラス基板1中の走査領域に形成される回折格子を示す。図4(a)は、第1層目の※

$$\eta = \sin^2 (\pi n_1 T / \lambda_0 \cos \theta_0) \quad \dots (2)$$

ここで、ηは回折効率、n₁は屈折率変化の強度、Tはグレーティングの厚さ、λ₀は入射ビームの波長、θ₀はブラッグの入射角を表す。ブラッグ条件は、

【0043】

【数3】

$$k_s = k_i + K \quad \dots (3)$$

で与えられる。ここで、k_sは回折波数ベクトル、k_iは入射波数ベクトル、Kは格子ベクトルを表す。

【0044】屈折率分布は、上記理論において正弦波状★

$$n(x) = \langle \sum_{m=1}^{\infty} n_m \cos (L \pi x / \Lambda) \rangle \quad \dots (4)$$

と表される。ここで、mは整数、xは回折格子ベクトルの方向に沿った座標、n_mは正弦波状の屈折率回折格子の振幅、2Λは各回折格子の周期を表す。

【0046】上記式(2)、(3)、(4)を用いるこ

*できた。使用したレーザはT1：サファイアレーザで、繰り返しの周期が1kHzで、波長が800nmで、パルス幅が約130fsである。

【0035】参考のため、ガラス中に1つのパルス光を集光させた後の温度上昇を計算することによって後者の実施例における自己集光効果を評価してみた。温度上昇を計算するため、下記の3次元熱拡散方程式(1)を解析した。

【0036】

【数1】

※ブラッグ回折格子30を作製している工程を示す。図4(b)は、第2層目のブラッグ回折格子30を作製している工程を示す。回折格子のグレーティングベクトルの向きをX方向、レーザビームの集光点の主走査方向をY方向とするXYZ直交座標系を考える。

【0040】回折格子は、Z方向に重なった2層構造のブラッグ回折格子30で構成される。1層目のブラッグ回折格子30の厚さTは30μmである。なお、1層目のブラッグ回折格子30と2層目のブラッグ回折格子30との光軸方向(Z方向)の位置ずれSは、厚さTとほぼ等しい30μmとした。2層目の回折格子30は、1層目の回折格子をZ方向に位置ずれ量Sだけ平行移動すると、2層目の回折格子に重なる。これにより、厚さ60μmの回折格子が得られる。詳細は後述するが、得られた回折マークによる回折効率は、十数%程度となった。

【0041】以下、ブラッグ回折格子30に生じている屈折率変化について説明する。Kogelnikの結合モード理論は、屈折率変化の強度を評価するため、式(2)を与える。

【0042】

【数2】

★であると仮定される。形成した格子の屈折率変化は正弦波とは異なり、くし歯形関数のような形となる。これは、レーザパルスによって生じる屈折率変化が集光点の近傍に局在するからである。本評価においては、形成した回折格子が、正弦波状の回折格子の重ね合わせであると仮定した。屈折率変化n(x)は、

【0045】

【数4】

とによって、屈折率分布を評価した。屈折率変化は通常小さい(約10⁻³)ので、Bornの一次近似を利用した。この一次近似では、一つのグレーティングで回折される光線が他の回折格子で回折されないものと仮定され

(6)

特開2001-276985

9

10

る。He-Neレーザの光線を入射光線として用い、入射角を変化させることにより高次回折光を求めた。5次回折光まで観察することができたが、3次よりも高次の回折光の強度は0次光の0.1%未満であることから、式(4)において3次回折光まで含めた。

*

*【0047】以下の表1は、第1層のブラッグ回折格子30のみを作製した段階における計測結果を示す。

【0048】

【表1】

／	回折効率 (%)	屈折率変化 ($\times 10^{-3}$)
1	3.3	1.22
2	1.4	0.78
3	0.12	0.22

【0049】図5は、評価した屈折率変化の分布を示す。横軸は基準点からグレーティングベクトルに沿った方向への変位を単位「 μm 」で表し、縦軸は屈折率変化 $n(x)$ を表す。図5は、屈折率変化量が 1.5×10^{-3} になることを示している。形成した回折格子の全散乱損失は15%になる。大きな散乱損失と低い回折効率は局所的な破壊やボイドと言った不均質に起因すると考えられる。ボイドの周囲の領域では、ガラスの密度増加によって屈折率が高くなり、ボイドの領域内では屈折率が低下しているものと思われる。この実験で評価した屈折率変化は、ボイドが発生しないで屈折率のみが変化した領域と、ボイド部分との屈折率を平均した値であると考えられる。

【0050】式(2)は、回折格子の厚さが増大するとともに回折効率も増大することを示す。回折格子の厚さを増すため集光点を光軸に沿って移動させることによって2層の回折格子を作製した場合(図4(b)参照)、1次回折光の回折効率が13%まで増加した。

【0051】上記実施例では、ブラッグ回折格子30のピッチを $4\mu\text{m}$ に固定しているが、回折格子のピッチは、周期的な変調をかけたものであってもよい。例えば、回折格子のピッチに、 $4\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}$ 、 $7\mu\text{m}$ 、・・・といったようにピッチが単調に増加するように変調をかけてもよく、 $4\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、・・・といったようにピッチが周期的に変動するように変調をかけてもよい。

【0052】上記実施例では、回折格子としてブラッグ回折格子を用いた場合を説明したが、ブラッグ回折格子の代わりに、例えばフレネルゾーンプレートを用いることもできる。これによって一定の明暗パターン等を形成することができる。さらに、回折格子は、単にマークを視認できるようにするだけでなく、特定波長(色)の光を分光するビームスプリッタとしても機能する。

【0053】以下、フレネルゾーンプレートの作製例について説明する。このゾーンプレートは、紫外線の発散光を対称的に光軸上の点に収束させる。L番目のゾーンの幅 Λ_L は以下の式によって与えられる。

$$\Lambda_L = \lambda / (2 \sin \theta_L)$$

$$\theta_L = \tan^{-1} (r_L / f) \quad \dots (5)$$

ここで、 θ_L は、第L次の回折角を、 λ は入射光の波長を、 r_L は第L次ゾーンの外側半径を、 f は集光点までの距離を示す。実験では、 $\lambda = 633\text{nm}$ 、 $f = 50\text{mm}$ 、 $r_L = 4 \sim 5\text{mm}$ とされ、周期 Λ_L が $4.0 \sim 3.2\mu\text{m}$ とされた。ゾーンプレートのサイズは、 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ である。レンズから発散するHe-Neレーザビーム(波長 633nm)がゾーンプレートに照射され、NAが0.1の回折光をCCDの受光面に集光した。図6(a)及び(b)は、それぞれ集光点のX方向及びY方向に沿った断面の強度分布を示す。スポットの直径は約 $80\mu\text{m}$ で、回折効率は2.9%であった。厚いゾーンプレートの収差によって、回折限界動作(約 $4\mu\text{m}$)は得られなかった。

【0054】以下、スポットアレイからなる回折格子について説明する。図7は、作製したスポットアレイの配列を概念的に説明する平面図である。この回折格子は、 $4\mu\text{m}$ ピッチで 25×25 点のマトリックスMSを作り、このマトリックスMSを約 $200\mu\text{m}$ ピッチで 3×3 箇所に配置することによって得られる。

【0055】以下、回折格子の作製条件について説明する。レーザ光源11としてT1：サファイアレーザを用いる。繰り返し周波数は 1kHz 、波長は 800nm 、パルス幅は 130fs である。透明ガラス基板1にレーザ光を集光するための対物レンズの開口径NAは0.3である。集光点における到達時の1パルスあたりのエネルギーは $0.68\mu\text{J}$ /パルスであり、各集光点の露光時間を 1s とした。以上のようにして得た回折格子により、単純にマークの点数を増やしただけでなく、回折による明瞭な視認性が得られた。

【0056】次に、本発明の他の実施例について説明する。1パルスあたりのエネルギーを $1.9\mu\text{J}$ /パルスとし、対物レンズの焦点距離を 100mm 、NAを0.05としてT1：サファイアレーザをガラス基板の内部に集光した。なお、パルス発振の繰り返し周波数、波長等は、上記実施例の場合と同様である。

(7)

特開2001-276985

11

【0057】図8に、露光時間を変えて形成した変質領域の拡大正面図を示す。露光時間を長くすると、変質領域がレーザビームの上流側に向かって延びていることが分かる。なお、露光時間を0.5分とした場合の変質領域は視認困難であり、露光時間を0.25分とした場合の変質領域はほとんど観察できなかった。

【0058】次に、照射時間を2分とし、1パルスあたりのエネルギーを変えて変質領域を形成した。1パルスあたりのエネルギーが増加すると、変質領域がレーザビームの上流側に向かって延びることが分かった。1パルスあたりのエネルギーを、1.8μJ/パルス、2.3μJ/パルス、2.8μJ/パルス、3.5μJ/パルス、及び4.4μJ/パルスとしたとき、変質領域の長さは、それぞれ450μm、500μm、800μm、900μm、及び1000μmであった。

【0059】1パルスあたりのエネルギーが0.9〜1.8μJ/パルスのとき、1本の糸状の変質領域が形成された。ところが、1パルスあたりのエネルギーを2.3〜7.0μJ/パルスとすると、複数の糸状部分が束ねられたような変質領域が形成された。1本の糸状部分からなる変質領域を形成するためには、1パルスあたりのエネルギーを0.9〜1.8μJ/パルスとすることが好ましい。

【0060】また、1パルスあたりのエネルギーを10μJ/パルスよりも大きくすると、粒状部分がレーザビームの光軸に沿って不規則に配列した変質領域が形成された。従って、細い糸状の変質領域を形成するためには、1パルスあたりのエネルギーを10μJ/パルス以下とすることが好ましい。

【0061】1本の糸状部分からなる変質領域を形成するためには、NA及び1パルスあたりのエネルギーに、好適な範囲があることが分かった。NAが0.05、0.1、及び0.3のときの1パルスあたりのエネルギーの好適値は、それぞれ1.1〜2.3μJ/パルス、0.9〜2.0μJ/パルス、及び0.3〜0.5μJ/パルスであった。

【0062】この条件で変質領域を形成すると、露光時間の増加に伴って変質領域が長くなる。ところが、露光時間がある長さに達すると、変質領域の長さの増加が飽和することが分かった。NAが0.05の時の飽和時間は約30分であり、そのときの変質領域の長さは約500μmであった。NAが0.1の時の飽和時間は約10分であり、そのときの変質領域の長さは約200μmであった。NAが0.3の時の飽和時間は約5分であり、そのときの変質領域の長さは約40μmであった。従って、長い変質領域を形成するためには、NAを小さくすることが必要であることがわかる。

【0063】以下、所望の長さの変質領域を形成する方法について説明する。予め種々のNA及び1パルスあたりのエネルギーで加工対象物に変質領域を形成し、NAと

12

1パルスあたりのエネルギーと変質領域の飽和長との関係を調べておく。この関係から、変質領域の飽和長が所望の変質領域の長さとはほぼ等しくなるNA及び1パルスあたりのエネルギーを求める。求められた条件でレーザ加工を行うことにより、所望の長さの変質領域を形成することができる。変質領域を長くすると、マークの視認性が高まる。また、加工対象物が薄い場合には、その厚さに応じて変質領域を短くすることが好ましい。

【0064】上記実施例では、パルス幅が130fsのパルスレーザビームを用いたが、パルス幅がピコ秒オーダーのパルスレーザビームを用いても、同様の変質領域を形成できることが確かめられた。

【0065】上記実施例で形成されるマークは、部品の識別符号として用いることができる。また、内部にマーキングしたガラス等の部材は、種々の色の回折光が視認されるため、装飾品としての価値を持たせることも可能である。

【0066】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、光学的性質が変化した変質領域で回折格子を形成することにより、容易に視認可能なマークが得られる。また、対物レンズのNA及び1パルスあたりのエネルギーを適当に選ぶと、所望の長さの変質領域を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例による光透過性材料のマーキング方法を実施するマーキング装置の構造を説明する図である。

【図2】 図1の装置によって形成される変質部分の側面図及び正面図である。

【図3】 レーザ光の走査パターンを説明する図である。

【図4】 ガラス基板中に形成されるブラック回折格子の構造を示す図である。

【図5】 図4のブラック回折格子の回折率変化を説明するグラフである。

【図6】 フレネルゾーンプレートによる集光を説明する図である。

【図7】 スポットアレイからなる回折パターンを説明する図である。

【図8】 露光時間を変えて形成した変質領域の拡大正面図である。

【符号の説明】

- 1 透明ガラス基板
- 10 マーキング装置
- 11 レーザ光源

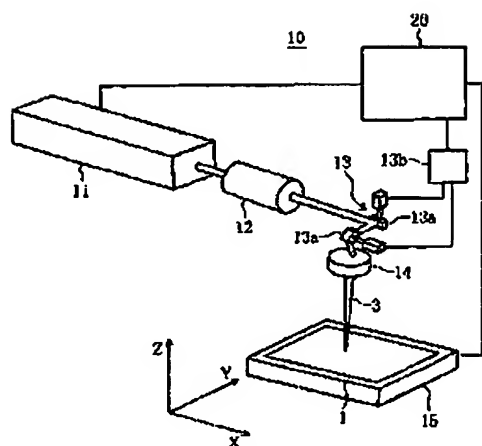
(8)

特開2001-276985

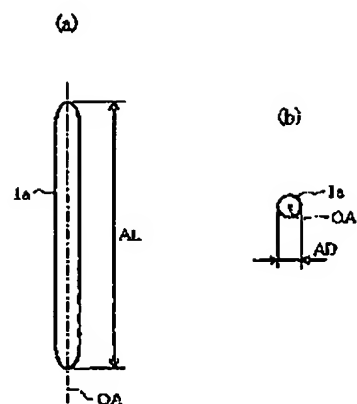
- 13
 12 ビーム整形器
 13 ガルバノスキャナ
 13a ガルバノミラー
 14 レンズ

- * 15 ステージ
 20 コンピュータ
 30 ブラック回折格子
 * OA 光軸

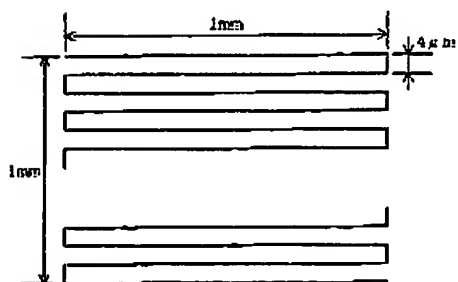
【図1】



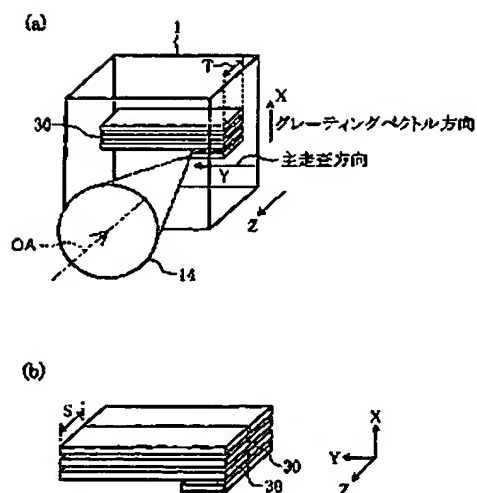
【図2】



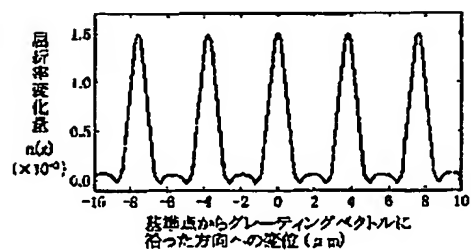
【図3】



【図4】



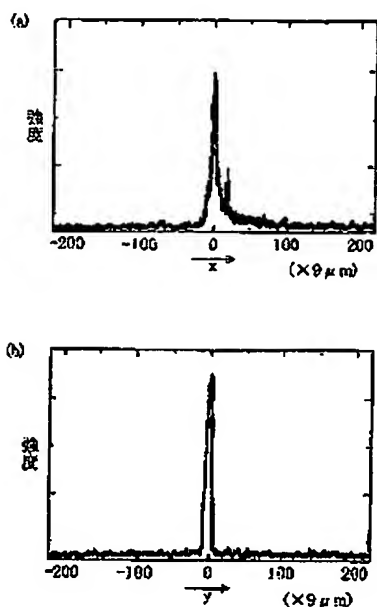
【図5】



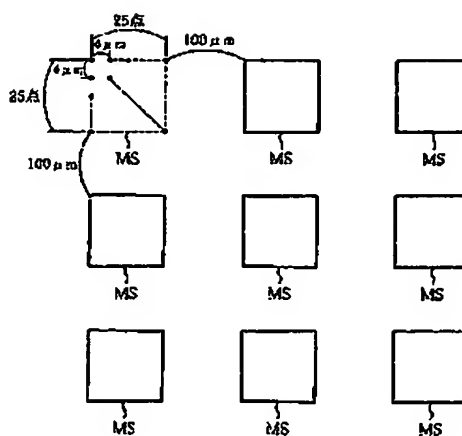
(9)

特開2001-276985

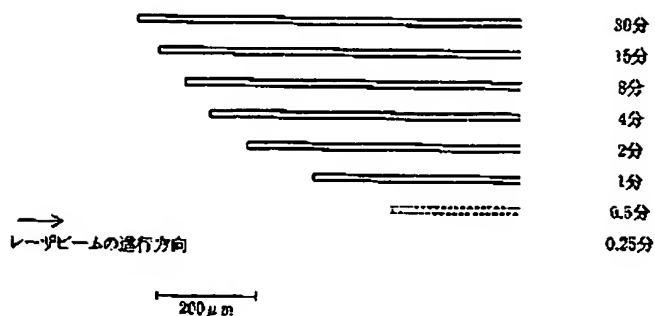
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.
G 0 2 B 5/18

識別記号

F i
G 0 2 B 5/18

シーコード (参考)

F ターム (参考) 2H049 AA06 AA12 AA33 AA45 AA60
AA65
4E058 AB01 CA11 CB08 CE02 CE04
DA11 DB13
4G059 AA11 AB19 AC09